

**Вітенько Т.М.
Зарецька Т.В.**

**Тернопільський національний
технічний університет
імені Івана Пулюя**

УДК 532.528, 615.012.014

ОЦІНКА КАВІТАЦІЙНОГО ПОДРІБНЕННЯ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ НА ПРИКЛАДІ ШОВКОВИЦІ БІЛОЇ І ЧОРНОЇ

Представлены результаты экспериментальных исследований обработки растительного сырья в кавитационном устройстве статического типа. Проанализирована степень влияния гидродинамических и кавитационных параметров на изменение площади поверхности массообмена.

The results of experimental investigations of plant raw stuff treatment in the static cavitation device are presented. The degree of influence of hydrodynamic and cavitation parameters on changes of the mass transfer surface area is analyzed.

Значна кількість тепло-масообмінних процесів харчової, хімічної та фармацевтичної промисловостей потребують інтенсифікації. Перспективними методами на сьогодні можна вважати вплив електро-магнітного поля, вакуумування системи, застосування ультразвукових коливань та ефектів гідродинамічної кавітації тощо. З обладнання, яке працює в режимах гідродинамічної кавітації, найбільш універсальними і перспективними є пристрої статичного типу [1-3], оскільки їхнє застосування дає змогу суттєво підвищити ефективність оброблення гетерогенних технологічних середовищ.

Конструктивно пристрої статичного типу виконують у вигляді циркуляційного контуру з горизонтально розташованою робочою ділянкою [4]. Циркуляцію рідини вздовж контуру забезпечує насос. Робочу ділянку виконують у вигляді труби Вентурі на вході якої встановлюють рухому перешкоду у вигляді зрізаного конуса, що забезпечує регулювання режимів роботи установки внаслідок його переміщення у зворотно поступальному напрямі. Ефективність роботи та інтенсивність

кавітаційного впливу на технологічну систему залежать від конструктивних особливостей пристрою, технологічних параметрів і кратності оброблення.

Водночас, ступінь інтенсифікуючого впливу кавітаційних ефектів на той чи інший процес залежить від особливостей його протікання, що вимагає індивідуального підходу. Так для масообмінних процесів насамперед необхідно забезпечити розвинену поверхню масообміну та оптимальні гідродинамічні умови.

Екстрагування є широко розповсюдженим масообмінним процесом, що характеризується зовнішнім і внутрішнім масообміном і відрізняється довготривалістю або енергоємністю. За останні десять років було запропоновано багато способів інтенсифікації процесу екстрагування [5-7], але, незважаючи на суттєві досягнення у цій галузі, залишається ще багато невирішених питань. Насамперед, це скорочення часу проведення процесу та зменшення втрат речовин, що екстрагують.

Для їхнього вирішення використовують різноманітні методи, наприклад, вихрове

екстрагування [5], екстрагування у роторно-пульсаційних апаратах [6]. Ці методи дають змогу значно прискорити процес зовнішнього масообміну внаслідок збільшення площі поверхні твердої фази, проте внаслідок суттєвого подрібнення сировини і вимивання високомолекулярних речовин із зруйнованих клітин, отримують вилучення з баластами та значним вмістом дрібнодисперсної фази (мутні). Такі екстракти потребують відстоювання протягом декількох діб або центрифугування, а наявні баласты зменшують термін їхньої придатності і утруднюють очищення. Тому актуальним є не тільки забезпечення інтенсивного вилучення цільових компонентів внаслідок подрібнення сировини, але й забезпечення оптимального для досліджуваної сировини подрібнення.

Основним завданням роботи було вивчення впливу кавітаційних та гідродинамічних характеристик на ступінь розвитку площі масообміну рослинної сировини на прикладі листя шовковиці білої та чорної. Експериментальні дослідження проводили на стенді статичного типу [8] за такою методикою.

Полідисперсну суміш подрібненого листя шовковиці та екстрагент завантажували у робочий об'єм у співвідношенні 1:10. Початковий склад твердої фракції, що поданий на рис. 1 залежністю $F(m)$ від d , визначали з використанням фотоседиментографу.

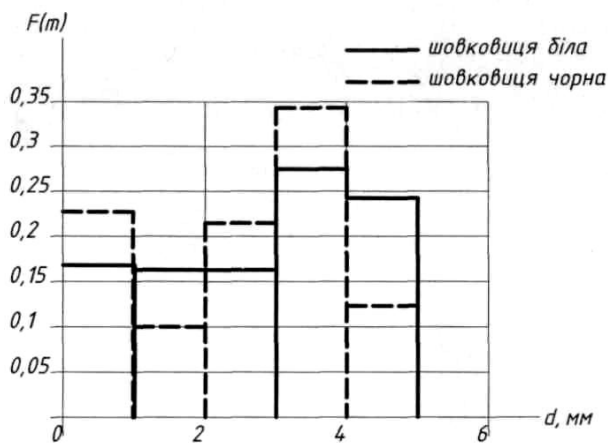


Рис. 1. Початковий розподіл твердої фракції за розмірами

Процес екстрагування здійснювали через певні відрізки часу 2хв., 5хв., 10хв., 15хв і 20хв. Після кожного інтервалу часу процес закінчували, одержуваний екстракт фільтрували на паперовому фільтрі під вакуумом, створеним водоструменевим насосом. Твердий залишок аналізували на дисперсний склад.

Результати досліджень щодо зміни дисперсного складу рослинної сировини за оптимальних гідродинамічних умов, які характеризуються найбільшим впливом турбулентних пульсацій, ударних сферичних хвиль, кумулятивних струминок під час руйнування кавітаційних бульбашок наведено на рис. 2 і рис. 3.

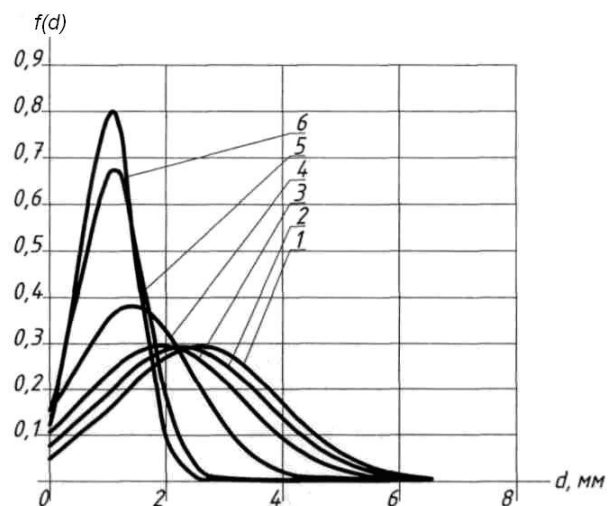


Рис. 2. Зміна густини розподілу твердої фракції (шовковиця чорна) за розмірами з часом кавітаційного оброблення: 1 – початкова фракція; 2 – 2 хв; 3 – 5 хв; 4 – 10 хв; 5 – 15 хв; 6 – 20 хв

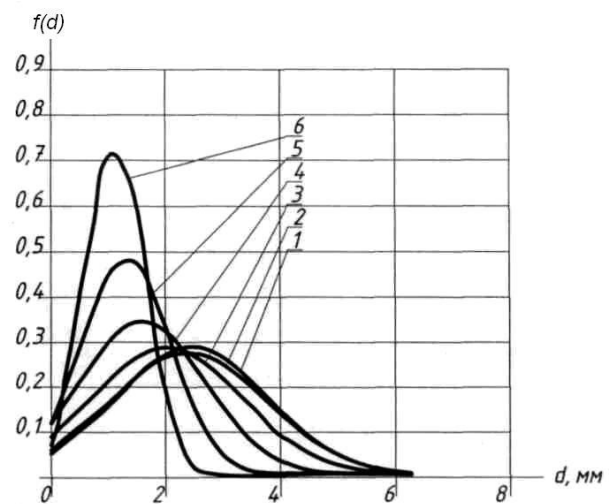


Рис. 3. Зміна густини розподілу твердої фракції (шовковиця біла) за розмірами з часом кавітаційного оброблення: 1 – початкова фракція; 2 – 2 хв; 3 – 5 хв; 4 – 10 хв; 5 – 15 хв; 6 – 20 хв

Кривими 1-6 зображено густину розподілу рослинної сировини за розмірами через певні проміжки часу за таких умов оброблення:

критерій Рейнольдса $Re=1,45 \cdot 10^5$, стадія кавітації $\lambda=2,5$. З наведених на цих рисунках даних спостерігається суттєве подрібнення твердої фракції за встановленого режиму. Цей процес буде залежати від природи речовини і кавітаційних характеристик потоку, а отже під час розрахунків масообмінних коефіцієнтів за таких умов потрібно враховувати збільшення площі поверхні твердої фази.

Отримані результати були апроксимовані аналітичними виразами. Перевірку гіпотез про закони розподілу частинок твердої фази за їхніми розмірами проводили за допомогою критерію Персона χ^2 . З достатньою достовірністю у всіх експериментах склад твердої фази описувався нормальним розподілом у вигляді

$$f(d) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma}} e^{-\frac{(d-a)^2}{2\sigma^2}}.$$

Математичне узагальнення зміни отриманих значень вибіркової середньої a і виправленої вибіркової дисперсії σ з часом дало змогу отримати відповідні залежності 1 і 2, що справедливі як для шовковиці чорної так і для шовковиці білої.

$$a = 2,6e^{-0,046\tau}, \quad (1)$$

$$\sigma = 1,5 - 0,048\tau. \quad (2)$$

Аналогічні дослідження проводили й за інших гідродинамічних умов. Результати зміни площі поверхні масообміну внаслідок впливу кавітаційних ефектів за різних режимів оброблення подано у табл. 1.

Таблиця 1
Зміна площі поверхні масообміну

Критерій Рейнольдса	$\tau=20\text{хв}$		
	Стадія кавітації, λ	Зміна площі поверхні, м^2	
		Шовковиця чорна	Шовковиця біла
$7,5 \cdot 10^4$	0,5	3,62 – 3,64	3,16 – 3,2
	2,5	3,62 – 3,89	3,16 – 3,37
	6	3,62 – 3,7	3,16 – 3,24
$1,12 \cdot 10^5$	0,5	3,62 – 3,8	3,16 – 3,28
	2,5	3,62 – 5,19	3,16 – 4,33
	6	3,62 – 4,11	3,16 – 3,35
$1,45 \cdot 10^5$	0,5	3,62 – 4,01	3,16 – 3,46
	2,5	3,62 – 6,92	3,16 – 5,55
	6	3,62 – 5,49	3,16 – 4,3

З наведених у таблиці 1 даних випливає, що найбільший розвиток поверхні масообміну

спостерігається за значень стадії кавітації $\lambda=2,5$ і числа Рейнольдса $1,45 \cdot 10^5$. За таких умов процес екстрагування буде інтенсифікуватись, оскільки зі зменшенням розмірів частинок пов'язане збільшення поверхні фазового контакту та руйнування бар'єрів на шляху проникнення цільового компоненту (флаваноїдів) з твердої фази в рідку. Водночас внаслідок утворення фракції з розмірами $<1\text{мм}$ спостерігається помутніння рідкої фази, що може впливати на якість настоянок і вимагає спеціальних методів розділення. Було встановлено, що швидко розділяються суспензії, що обробляли за стадій кавітації $\lambda=0,5$ і $\lambda=6$. За таких режимів спостерігається незначне подрібнення твердої фракції, яке також буде впливати на швидкість екстрагування, і є доцільним, оскільки в процесі подрібнення сировини руйнуються міжклітинні бар'єри, що позитивно впливатиме на швидкість вилучення цільового компоненту. Водночас механізм екстрагування залишається складним, оскільки, частина цільових компонентів, які знаходяться на поверхні подрібненої сировини переходять у розчин за зовнішньо дифузійним механізмом, в той же час друга частина, яка знаходиться у твердому скелеті, екстрагується за внутрішньо дифузійним, значно повільнішим, механізмом. Слід зазначити, що швидкість процесу екстрагування також залежатиме від природи екстрагента, його селективності, температури та інших факторів.

У попередніх дослідженнях [9, 10] були отримані позитивні результати кавітаційної активації екстрагента на процес вилучення цільового компонента. Приймаючи до уваги цей факт, слід зазначити, що ефективнішим може бути комплексний вплив кавітації, що полягає не тільки у активації екстрагента чи подрібненні сировини, а і у їхній синергійній дії. Це може бути предметом подальших досліджень.

Висновки.

Результатами експериментальних досліджень щодо кавітаційного оброблення системи тверда фаза – рідина підтверджено подрібнення рослинної сировини внаслідок впливу кавітаційних ефектів. На основі аналізу отриманих даних та їхнього математичного узагальнення встановлено оптимальні режими роботи пристрою статичного типу.

Література

1. Литвиненко О.А. Кавітаційні пристрої в харчовій, переробній та фармацевтичній промисловості / О.А. Литвиненко., О.І. Некоз. – К.: РВЦ УДХТ, 1999. – 87 с.

2. Есиков С.А. Гидродинамические характеристики суперкавитирующих реакторов для кавитационной обработки питательной воды диффузионных аппаратов свеклосахарного производства: дис. ... канд. техн. наук: 05.17.08 / С.А. Есиков. – Красноярск, 1987. – 210 с.
3. Федоткин И.М. Кавитация, кавитационная техника и технология, их использование в промышленности / И.М. Федоткин, И.С. Гулый. – К. : АО "ГЛАЗ", 2000. – 684 с. (Теоретические основы производства избыточной энергии, расчет и конструирование кавитационных теплогенераторов).
4. Литвиненко О.А. Дослідження ерозії в проточних кавітаційних пристроях / О.А. Литвиненко, О.І. Некоз // Наукові праці Укр. держ. університету харч. технологій. – 1988. – №4(1). – С. 47 – 48.
5. Melichar M., Rusek V., Solich Y., Ceskosl. Farmac., 3(10), 336-341 (1954)
6. Леквеишвили М. В., Балабудкин М.А. и др., Хим.-фарм. журн., 17(3), 354-356 (1983).
7. Задорский В.М. Интенсификация химико-технологических процессов на основе системного подхода. – К.: Техника, 1989.–208 с.
8. Вітенько Т.М. Механізм та кінетичні закономірності інтенсифікуючої дії гідродинамічної кавітації у хіміко-технологічних процесах: дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук: спец. 05.17.08 / Т.М. Вітенько. – Тернопіль, 2010. – 436с.
9. Вітенько Т.М. Дифузійні константи процесу екстрагування валеріани при попередній кавітаційній обробці екстрагента / Т.М. Вітенько // Вопросы химии и химической технологии. – Днепропетровск, 2007. – №3. – С. 147 –150.
10. Вітенько Т.М. Інтенсифікація масообміну в системі капілярно-пористе тіло – рідина / Т.М. Вітенько // Вопросы химии и химической технологи. – Днепропетровск, 2006. – №3. – С. 153 – 156.